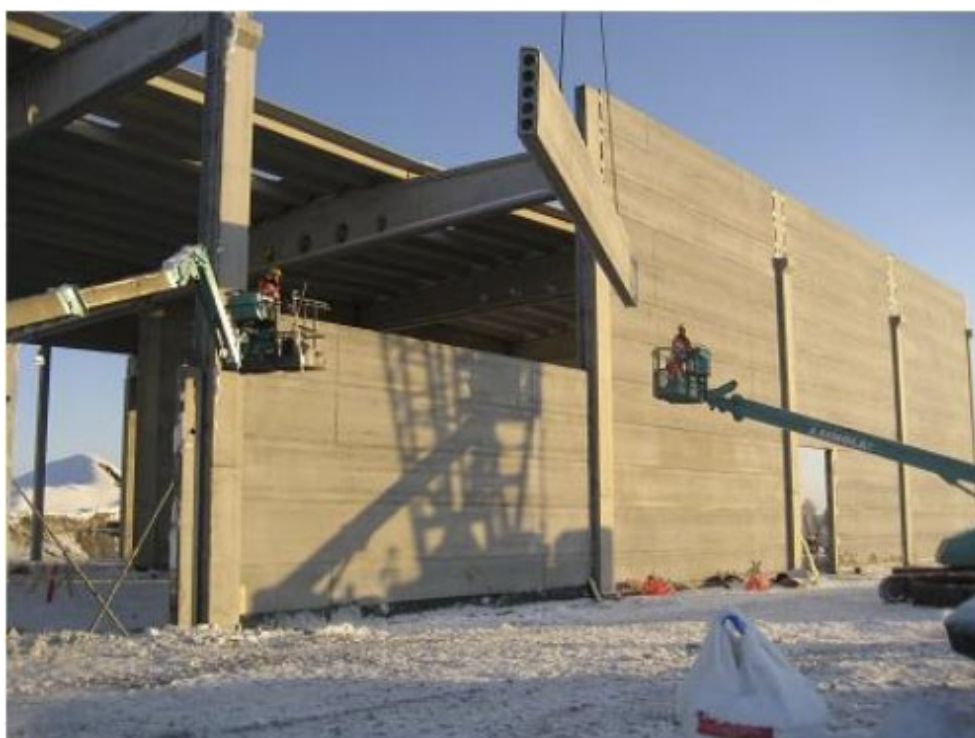


Möjligheten att använda håldäck som väggbeklädnad inom lantbruket

- The possibility of using hollow decks as wall boarding in agriculture

Fredrik Dobak Andersson



Möjligheten att använda håldäck som väggbeklädnad inom lantbruket

–The possibility of using hollow decks as wall Boarding in agriculture

Fredrik Dobak Andersson

Handledare: Knut-Håkan Jeppsson, SLU, Biosystem och teknologi,

Btr handledare: Fredrik Fredbo, Abetong, Produktutveckling

Examinator: Torsten Hörndahl, SLU, Biosystem och teknologi,

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i lantbruksvetenskap, G2E – Lantmästare – kandidatprogram

Kurskod: EX0885

Program/utbildning: Lantmästare - kandidatprogram

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2021

Omslagsbild: Olli Korander

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Håldäck, Väggelement, Vindlast, Spannmålslast,

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för biosystem och teknologi

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

FÖRORD

Lantmästare -- kandidatprogrammet är en treårig universitetsutbildning vilken omfattar 180 högskolepoäng (hp). Inom programmet är det möjligt att ta ut två examina, en lantmästarexamen 120 hp och en kandidatexamen 180 hp. En av de obligatoriska delarna i denna är att genomföra ett eget arbete som ska presenteras med en skriftlig rapport och ett seminarium. Detta arbete kan t.ex. ha formen av ett mindre försök som utvärderas eller en sammanställning av litteratur vilken analyseras. Detta arbete är utfört under programmets andra år och arbetsinsatsen motsvarar minst 10 veckors heltidsstudier (15 hp).

Idén till studien kom från Fredrik Fredbo som även varit biträdande handledare för arbetet. Arbetet har utförts i samarbete med Abetong.

Ett varmt tack riktas till Fredrik Fredbo, Abetong, produktutveckling och Sebastian Gyllensten, Abetong, Konstruktör som har ställt upp som bollplank med synpunkter och hjälpt till att plocka fram rätt underlag för projektet. Vidare vill jag tack min handledare Knut-Håkan Jeppsson för tid, kunskap och vägledande råd.

Ett tack riktas även till Johannes Lindenmo, Projektchef, Contiga och Jani Eilola, Elemetic, Produktspecialist för att de tagit sig tid med videomöte och svara på frågor via mail om produkterna.

Torsten Hörndahl, SLU, Biosystem och teknologi har varit examinator.

Alnarp November 2021

Fredrik Dobak Andersson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	3
SUMMARY	4
INLEDNING	5
BAKGRUND	5
SYFTE/MÅL	5
AVGRÄNSNING	6
LITTERATURSTUDIE	7
HÅLDÄCK	7
<i>Tillverkning av håldäckselement</i>	7
VINDLASTER	7
<i>Utvändig vindlast</i>	8
<i>Invändig vindlast</i>	9
<i>Vindlastzoner i Sverige</i>	10
<i>Terrängtyper</i>	11
SÄKERHETSKLASSER FÖR EKONOMIBYGGNADER	12
DJURLASTER	13
<i>Horisontell last av djur</i>	13
GÖDSEL- OCH SPANNMÅLSLASTER	14
BETONG	15
<i>Betongens egenskaper</i>	15
<i>Betongkvalitet och exponeringsklasser</i>	16
<i>Ytbehandling av betongytor</i>	16
<i>Ytskikt/beläggningar på betongytor</i>	16
<i>Miljö - Betong</i>	16
METOD	18
RESULTAT	19
DIMENSIONERANDE LASTER PÅ HÅLDÄCKSVÄGGELEMENT	19
VINDLASTER PÅ VÄGGELEMENT	20
DJURLASTER PÅ VÄGGELEMENT	20
SPANNMÅL OCH FASTGÖDSEL PÅ VÄGGELEMENT	21
LASTER VID HANTERING OCH TRANSPORT	21
INFÄSTNING VID STÅLSTOMME	22
MATERIALETS PÅVERKAN PÅ MILJÖN	23
DISKUSSION	24
SLUTSATS	26
REFERENSER	27
BILAGOR	28
BILAGA 1 – MÖTE MED ABETONG	28
BILAGA 2 – PROJEKTBESKRIVNING INFÖR CONTIGA MÖTET	29
BILAGA 3 – PROJEKTMÖTE MED CONTIGA	31
BILAGA 4 – PROJEKTBESKRIVNING FÖR ELEMATIC	33
BILAGA 5 – FRÅGESTÄLLNING TILL ELEMATICS PRODUKTSPECIALLIST	35
BILAGA 6 – SVAR FRÅN ELEMATIC	36
BILAGA 7 – VIDARE KONVERSATION MED ELEMATIC	37

SAMMANFATTNING

I takt med att byggnader och byggmaterial inom lantbruket blir allt dyrare så uppstår det en efterfrågan på lägre fasta kostnader såsom billigare byggnader. Betong är ett slitstarkt och bra material för lantbruksbyggnader. Nackdelen är att det är relativt dyrt att bygga med. Håldäck är ett betongelement som används mycket inom bostad och industribyggnader. Håldäck klarar stora krafter samtidigt som tillverkningen kräver mindre betong. Detta uppnås genom att betongelementen spännarmeras med hjälp av vajrar

Håldäck kan vara ett bra alternativ som beklädnadselement för enklare lantbruksbyggnader för djurhållning så som dikobesättningar eller fårproduktion men även till spannmålslagring. Målet är att försöka anpassa dagens håldäck från Contiga så att de går att använda i lantbruket. Det ska vara ett enkelt väggelement som ska byggas som standardelement så de enkelt kan tillverkas som lagervara.

För att undersöka om det är möjligt att använda håldäck som väggelement så har det varit möten och diskussioner med konstruktörer från ledande företag inom tillverkningsindustrin av betongelement. Konstruktörerna har med hjälp av beräkningsprogrammen Pre Stress och E-Bjälke beräknat olika håldäcks hållfasthet när de utsätts för olika laster. Lasterna är bland annat vindlaster, djurlaster och spannmålslaster. Lasterna från djur och spannmål har tagits fram med hjälp av utdrag från svenska institutet för svensk standard. Vindlasterna har beräknats fram genom den mest ogynnsamma terrängen, vindstyrkan samt säkerhetsklass 3. Detta för att säkerställa att väggelementen kan monteras på samtliga platser i Sverige.

Beräkningarna visar att det är möjligt att använda håldäck som beklädnads element på byggnader om väggen utsätts för de vindlaster som kan förekomma i Sverige. Håldäck ska även klara de laster som kommer från djur. När det kommer till laster från spannmål, i detta fall vete, så lämpar sig inte speciellt bra. Detta eftersom lagringshöjden inte blir mer än 1,4 meter upp på väggen. Vilket är alldeles för lite för att göra håldäckselementen konkurrenskraftiga. Vid spannmålslagring är det alltså bättre att använda traditionella betongelement.

Slutsatsen är att det går att använda sig av håldäcksväggar inom lantbruk. Det kan vara ett bra framtida komplement till dagens väggelement. Håldäckens största fördelar är att de går att tillverkas med maskin vilket minimerar antalet arbetstimmar per m² väggelement. Det går dessutom åt 35% mindre betong än för ett liknande väggelement vilket medför att det blir ett avsevärt mindre klimatavtryck. Håldäcken klarar även de vindlasterna som de kan utsättas för i svenska förhållanden. Det ska inte heller vara några problem med de djurbelastningar som kan uppstå. Däremot så kommer det inte att bli konkurrenskraftig som väggelement i planlager för spannmål då håldäcken klarar för låg lagringshöjd.

SUMMARY

As buildings and building materials in agriculture become more expensive, there is a demand for lower fixed costs such as cheaper buildings. Concrete is a durable and good material for agricultural buildings. The downside is that it is relatively expensive to build with. Hollow decks are a concrete element that is widely used in residential and industrial buildings. Hollow decks can withstand large forces while manufacturing requires less concrete. This is achieved by tensioning the concrete elements by means of wires

Hollow decks can be a good alternative as a Boarding element for simpler agricultural buildings for animal husbandry, such as cattle herds or sheep production, but also for grain storage. The goal is to try to adapt today's hollow core tires from Contiga so that they can be used in agriculture. It should be a simple wall element that should be built as a standard element so they can easily be manufactured as a stock item.

To investigate whether it is possible to use perforated decks as wall elements, there have been meetings and discussions with engineers from leading companies in the manufacturing industry of concrete elements. With the help of the calculation programs Pre Stress and E-Bjälke, the designers have calculated the strength of different perforated tires when they are exposed to different loads. The loads include wind loads, animal loads and grain loads. The loads from animals and grain have been produced with the help of extracts from the Swedish Institute for Swedish Standards. The wind loads have been calculated through the most unfavorable terrain, wind strength and safety class 3. This is to ensure that the wall elements can be mounted in all places in Sweden.

The calculations shows that it is possible to use hollow decks as Boarding elements on buildings if the wall is exposed to the wind loads that may occur in Sweden. Hollow decks must also withstand the loads that come from animals. When it comes to loads from grain, in this case wheat, it is not particularly suitable. This is because the storage height will not be more than 1.4 meters up on the wall. Which is far too little to make the hollow core elements competitive. When storing grain, it is therefore better to use traditional concrete elements.

The conclusion is that it is possible to use hollow core walls in agriculture. It can be a good future complement to today's wall elements. The biggest advantages of hollow decks are that they can be manufactured with a machine, which minimizes the number of working hours per m² of wall element. In addition, 35% less concrete is used than for a similar wall element, which means that there will be a considerably smaller climate footprint. The heel tires can also handle the wind loads to which they may be exposed in Swedish conditions. There should also be no problems with the animal loads that can occur. On the other hand, it will not be competitive as a wall element in plan storage for grain as the hollow core decks can handle too low a storage height.

INLEDNING

Bakgrund

Håldäck är ett planparallellt betongelement med längsgående hål. Det som har gjort håldäcket till absolut vanligast använda betongelementsprodukten inom den skandinaviska byggmarknaden är möjligheten till långa spännvidder. Detta medför att det blir väldigt flexibla byggnader samt att det minskar antalet bärande konstruktioner. Det finns dessutom en god ekonomi i att använda håldäck eftersom det finns rationella tillverknings- och monteringsmetoder. Håldäckets användningsområde är lika brett som sin spännvidd. Det är vanligast att användas som bjälklag och tak i affärs- och kontorsbyggnader, skolor, hotell, industrier, parkeringshus och bostäder (Contiga, U.å).

Abetong är ett av landets ledande företag inom utveckling, tillverkning och försäljning av betongelement. De bedriver även hela projekt med betongbaserade stommar. Under segmentet finns i marknadsområdena flerbostadshus, industri, anläggning och lantbruk. Abetong har försäljningskontor och fabriker på 13 orter i Sverige och är en del av Heidelbergcement-koncernen. Heidelbergcement är en av världens största producenter av byggnadsmaterial och är marknadsledande inom ballast, cement och betong (Abetong, U.å).

Abetong tillverkar och levererar isolerade och oisolerade väggelement till maskinhallar och djurstallar. Tillverkningen av dagens väggelement är orderstyrd vilket innebär att elementen projekteras och produceras specifikt till varje byggnad. Abetong ser möjligheter i att erbjuda enklare beklädnadselement som kan användas i enklare byggnader och av de som bygger i egen regi. De tänker sig ett standardelement som är utformat för ett brett användningsområde. Standardelementet ska tillverkas mot ett lager utan order. Projektering och konstruktion av elementet utförs en gång och därefter sker det serietillverkning. Det ger möjligheter till en rationell och kostnadseffektiv tillverkning.

Syfte/Mål

Målet med projektet är att göra en förstudie på om det är möjligt att använda de håldäck som idag produceras av Contiga som ett enklare beklädnadselement till enklare lantbruksbyggnader. En del är också att ta reda på vilka förändringar som måste göras på dagens befintliga håldäck för att de ska fungera som väggelement, och även ta reda på vilka belastningar håldäcket klarar och vilka eventuella förändringar som behöver göras för att klara av de laster som de kan komma att utsättas för i en lantbruksbyggnad. En del i projektet är att ta fram förslag på hur väggelementet ska hanteras i tillverkning, transport och montage. Men även att ta fram förslag på hur elementet ska utformas för att klara de laster som de svenska väderförhållandena kan utsätta väggelement för.

Syftet är försöka ta fram ett nytt väggelement samt att komma fram till om Abetong ska gå vidare med deras idé om att skapa ett enklare väggelement för enklare stallar. Det ska bli lättare för lantbrukare att bygga billigare byggnader själva eller i samarbete med Abetong.

Avgränsning

Arbetet begränsas till att titta på möjliga konstruktioner samt att studera vad det finns för miljövinster i att använda håldäck istället för traditionella väggelement. Produktion och materialkostnadsberäkningar kommer inte att tas upp i arbete. Marknadsundersökningar och försäljningsstrategier utelämnas helt.

LITTERATURSTUDIE

Håldäck

Håldäck är ett maskingjutet betongelement med längsgående hål enligt figur 1. Betongelementet är armerat med förspända vajrar som ger extra styrka. Spännarmeringen och hålen ger betongelementen en låg vikt och en förmåga att klara långa spännvidder. Detta i sin tur leder till att håldäck är en av de mest använda betongprodukterna i byggbranschen. Den långa spännvidden möjliggör stora flexibla planlösningar och minimerar antalet bärande konstruktioner. Det är även prisvärt att använda håldäck i byggnader eftersom de tillverkas maskinellt med minimal arbetskraft. Det vanligaste användningsområdet är som bjälklag och tak i affärs- och kontorsbyggnader, i skolor, hotell, industrier och parkeringshus. Det är även vanligt att använda håldäck vid husbyggnationer. (Contiga, u.å)



Figur 1 – Håldäck av betong med längsgående ihåliga kanaler (Bilaga 2)

Tillverkning av håldäckselement.

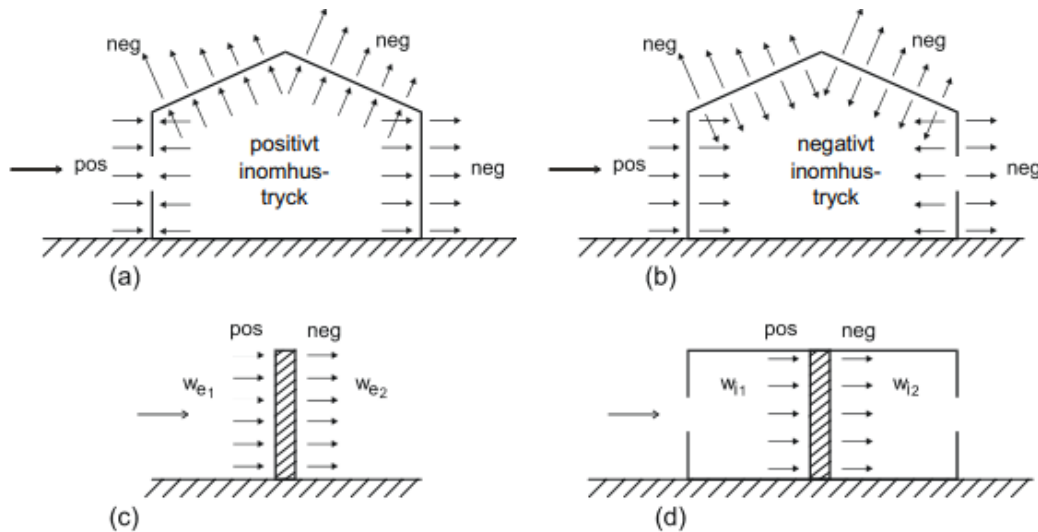
Ett håldäck är ett spänn armerat betongelement som klarar långa spännvidder. Elementet har längsgående cylindrar som är ihåliga för att få ner materialåtgången och vikten. Vid tillverkningen så förspänns vajrar över en läggarbana på uppemot 120 meter. Där efter kommer en betongläggare som är 1,2 meter bred och glid gjuter in vajrarna i ett enda långt betongelement. När betongen härdar så kapas betongelementen i de önskade längderna. Maskinerna gör att det krävs få personer i tillverkningen vilket ger låga kostnader. Det går att lägga till extra armering eller extra lyftanordningar men detta får göras förhand när läggaren passerat. Alla extra insatser ökar kostnaderna på betongelementen. (Strangbetong.se, 2021)

Vindlast

Vindlast är en last som kan variera med tiden. Lasten verkar direkt som antingen tryckande eller sugande på både insida och utsidan av en vägg. Det är vindens riktning och byggnadens utformning som avgör ifall det blir en tryckande eller sugande kraft. Anledningen till att det kan uppstå en invändig sugande eller tryckande effekt är otätheter i det yttre skalet. Om byggnaden har öppningar så kan vindlasten även verkar direkt på inre bärverk. Vindlast verkar

vinkelrätt mot ytor. Tangentiella friktionskrafter kan behöva beaktas om vinden sveper förbi. Vindlast klassificeras som en variabelt bunden last (Swedish Standards Institute, 2008).

Nettovindlasten anges genom att beräkna skillnaden mellan trycket och suget mot ytorna (se figur 2). Det tryck som riktas rakt mot den utsatta ytan beräknas som positivt medan det sug som riktas från ytan beräknas som negativt (Swedish Standards Institute, 2008).



Figur 2 – Vindlast på ytor (Swedish Standards Institute, 2008).

Utvändig vindlast

Utvändig vindlast beräknas enligt formel

$$W_e = q_p(z_e) * C_{pe} \quad (1)$$

Där W_e är utvändig vindlast (kN/m^2); q_p är karakteristiskt hastighetstryck (kN/m^2), z_e är referenshöjd för utvändig vindlast (m) och C_{pe} är en dimensionslös formfaktor.

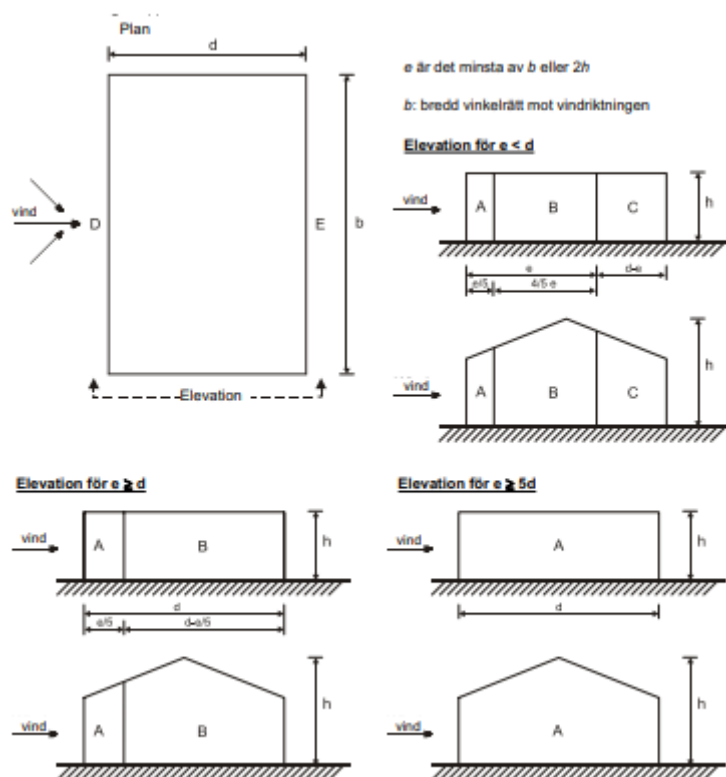
Invändig vindlast beräknas enligt formel

$$W_i = q_p(z_i) * C_{pi} \quad (2)$$

Eftersom de karakteristiska hastighetstrycken verkar samtidigt så kan formlerna summeras. Då formeln har förenklats så används de värdena på formfaktorerna C_{pe} och C_{pi} som är mest ogynnsamma när man räknar ut W_e .

$$W = W_e + W_i = q_p(z_e) * (C_{pe} + C_{pi}) \quad (3)$$

För att få fram värdena på C_{pe} och C_{pi} används svensk standard SS-EN 1991-1-4:2005 kapitel 7.2. Först så beräknas storleken på de olika zonerna på byggnaden med hjälp av figur 3. Eftersom båda vindriktningarna provas så vänds kortsida 90 grader och nya värden beräknas fram.



Zon	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Figur 3 – Zonindelning och beteckningar för vertikala väggar. $C_{pe,1}$ är formfaktor för ytor på 1 m² eller mindre. $C_{pe,10}$ är formfaktor för ytor på 10 m² eller mer. För ytor däremellan så används logaritmisk interpolering (Swedish Standards Institute, 2008).

Invändig vindlast

Invändig och utvändig vindlast ska anses verka samtidigt. Vid beräkning så ska den kombination som ger det mest ogynnsamma värdet för varje kombination av möjliga öppningar och läckagevägar väljas. Är det inte möjligt eller motiverat att uppskatta öppningsareor i byggnaden så används det mest ogynnsamma av C_{pi} -värdena +0,2 och -0,3.

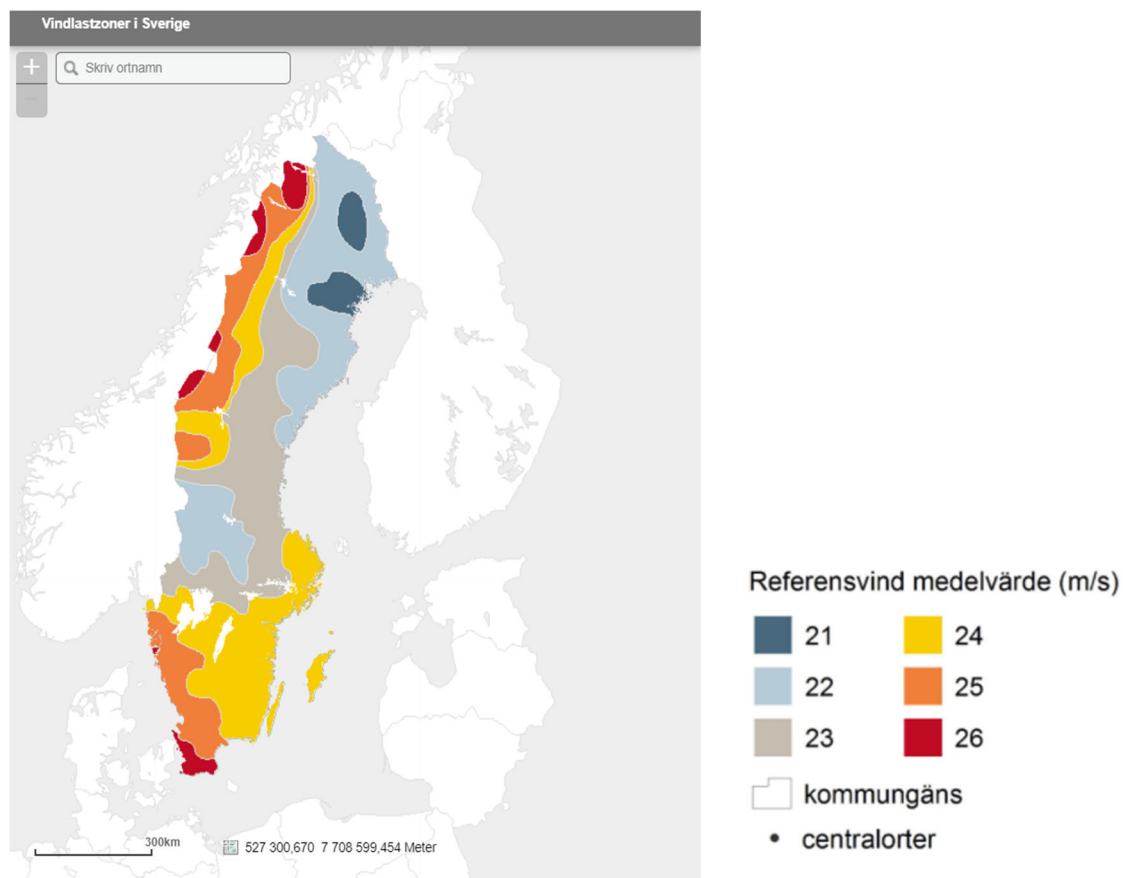
Det är öppningarnas storlek som avgör det invändiga trycket (C_{pi}). Om minst två sidor av en byggnad, kan vara fasader eller tak, har en total öppningsarea som överskrider 30% av sidans area så behöver inte vindlasten på bärverket beräknas.

När vindlasten beräknas så måste man utgå från att alla dörrar och portar är stängda (Swedish Standards Institute, 2008).

Vindlastzoner i Sverige

Värdet för q_p får man fram genom att läsa i boverkets författningssamling. Där tas det hänsyn till var i landet som byggnaden placeras samt i vilken terrängtyp.

För att ta fram vindhastigheten som en byggnad utsätts för används en referenskartan (se figur 4) över de olika vindhastigheterna i Sverige. Referenshastigheten som anges är uppmätt under 10 minuter på 10 meters höjd över marken och avser den hastighet som i genomsnitt återkommer en gång vart 50 år (Boverket, 2011).



Figur 4 – Vindlastzoner i Sverige (Boverket, 2011).

Terrängtyper

Det finns fem olika terrängtyper som används vid beräkning av vindlast.

Terrängtyp 0 – Havs- eller kustområden som exponeras av öppet hav.

Terrängtyp I – Sjö eller plant och horisontellt område med försumbar vegetation utan hinder.

Terrängtyp II – Område med låg vegetation som gräs och enstaka hinder. Hinder kan vara träd eller byggnader. Minsta inbördes avstånd lika med 20 gånger hindrets höjd.

Terrängtyp III – Område täckt med vegetation eller byggnader. De kan finnas större byggnader med största inbördes avstånd lika med 20 gånger hindrets höjd. Exempel på det kan vara byar, förorter och skogsmark.

Terrängtyp IV – Områden med minst 15% bebyggelse och minimihöjd på 15 meter.

(Ventföretagen, u.å)

Boverkets tabeller tar fram färdiga värden för karakteristiskt hastighetstryck, kN/m^2 , med hjälp av vindstyrkan och terrängtypen (se tabell 1). Höjden (z) avser byggnadens högsta höjd (Boverket, 2011).

Tabell 1 - Karakteristiskt hastighetstryck, q_p , som funktion av höjd över mark, z , referenshastighet, v_b , och terrängtyp (Swedish Standards Institute, 2012).

v_b (m/s)	z (m)	Terrängtyp				
		0	I	II	III	IV
26	2	0,84	0,73	0,55	0,49	0,44
	4	0,98	0,87	0,69	0,49	0,44
	8	1,13	1,03	0,86	0,60	0,44
	12	1,22	1,13	0,96	0,70	0,49
	16	1,29	1,20	1,04	0,78	0,56
	20	1,34	1,26	1,10	0,84	0,63
	25	1,40	1,32	1,16	0,90	0,69
	30	1,44	1,37	1,21	0,96	0,74
	35	1,48	1,41	1,25	1,00	0,79
	40	1,51	1,44	1,29	1,04	0,83
	45	1,54	1,48	1,33	1,08	0,87

Säkerhetsklasser för ekonomibyggnader

Allmänna regler för bärande konstruktioner

Normalt så ska dimensioneringen i brottsstadiet ske enligt partialkoefficientmetoden. Där ska det påvisas att det finns tillräcklig säkerhet mot brott i konstruktionen. Detta visas med hjälp av säkerhetsfaktorer – partialkoefficienter. På detta vis så nyanseras säkerheten för både lasterna och bärförmågan. Säkerhetsfaktorerna delas in i säkerhetsklasser med hänsyn till omfattningen av risk för personskador vid brott i konstruktioner enligt tabell 2.

I EKS 11 anges följande

"Med hänsyn till omfattningen av de personskador som kan befaras uppkomma vid brott i en byggnadsverksdel, ska byggnadsverksdelen hänföras till någon av följande säkerhetsklasser:

- Säkerhetsklass 1 (låg), liten risk för allvarliga personskador
- Säkerhetsklass 2 (normal), någon risk för allvarliga personskador
- Säkerhetsklass 3 (hög), stor risk för allvarliga personskador

Säkerhetsklasser för ekonomibyggnader

Det är normalt säkerhetsklass 2 som gäller för ekonomibyggnader på konstruktionernas bärande huvudsystem inklusive vindförband och stabiliserande system. För övriga delar så gäller säkerhetsklass 1.

Om byggnaden ska innehålla någon utåtriktad verksamhet som t.ex. gårdsbutik, ridskola med läktare och kafeteria så gäller säkerhetsklass 3 på bärande huvudsystem inklusive vindförband och stabiliserande system om takkonstruktionen har en spännvidd på över 15 m.

För enklare ligghallar för utomhusgående djur, rena maskinhallar och lagringslokaler så gäller säkerhetsklass 1 (Swedish Standards Institute, 2012).

Tabell 2 – Säkerhetsklasser enligt (Swedish Standards Institute, 2012)

Säkerhetsklass	Partialkoefficienter, γ
Säkerhetsklass 1	0,83
Säkerhetsklass 2	0,91
Säkerhetsklass 3	1

Vid lastkombinationer vid dimensionering i brottgräns så läggs det på ett säkerhetspålägg på 1,5 vid variabel last. Det innebär att värdet γ multipliceras med 1,5. (Boverket, 2011).

Djurlaster

Last-värden från djur enligt tabell 3 gäller djur med normala levande vikter enligt nuvarande produktionsformer. Exempel på djur som kan ha en avsevärt högre levande vikt är tjurar och galtar. Dessa djur bedöms då från fall till fall (Swedish Standards Institute, 2012).

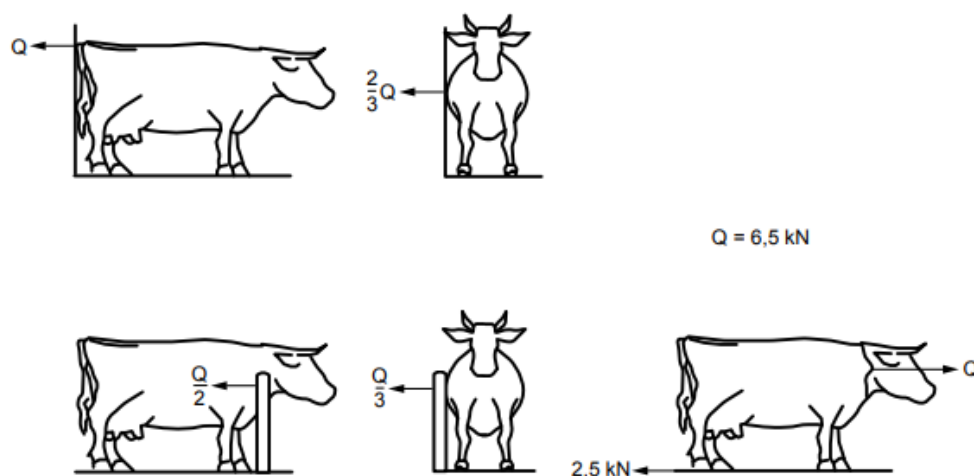
Tabell 3 – Last av olika djurslag (Swedish Standards Institute, 2012)

Djurslag	Tunghet Q [kN]
Köttdjur, vuxna	8,0
Ko	6,5
Ungdjur	4,5
Kalv	1,0
Häst	7,0
Får, get	1,0
Slaktgris	1,1
Avelsgris	2,5

Horisontell last av djur

Ett djur kan belasta en slät utbredd yta med horisontella krafter. Det kan till exempel vara en betongvägg (se figur 5) (Swedish Standards Institute, 2012).

- I längdled så utsätter djuret väggen för hela sin tyngd (Q) kN.
- I sidled så belastas väggen endast med $\frac{2}{3}$ av djurets vikt ($\frac{2}{3} \times Q$) kN
- Mot mindre utbredda begränsningar, exempelvis rörkonstruktion, belastar djuret konstruktionen med hälften av det angivna ovan.
- Om djurets kraft går via ett bindsel antas djurets hela tyngd.



Figur 5 – Horisontell last av djur (Swedish Standards Institute, 2012).

Gödsel- och spannmålslaster

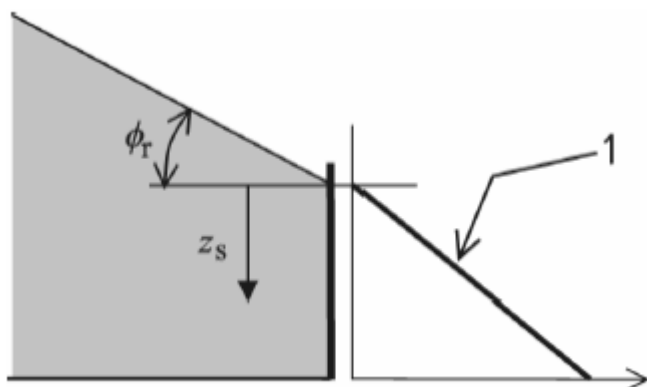
Påfyllningslaster på vertikala väggar betraktas av godshögens geometri och, om lämpligt, effekten av siloväggens krökning. Måttet för det karakteristiska trycket på en vertikal vägg bedöms med trycket p_h . Väggen kommer ha olika tryck i nedre kant respektive övre.

Formeln för att beräkna det karakteristiska trycket på en vertikal vägg, p_h är följande

$$p_h = \gamma K (1 + \sin \phi_r) Z_s \quad (4)$$

Där Z_s (m) är djupet nedanför högsta kontaktpunkten mellan godset och väggen; γ (kN/m³) är materialets karakteristiska densitet; K är materialets övre karakteristiska horisontallastförhållande; ϕ_r (Grader) = Materialets rasvinkel.

Ekvationen gäller för en rak vertikal vägg med fullt utvecklad friktionskontakt och en ravinkel lika med vinkeln för inre friktion (se figur 6). Enligt tabell 4 så skiljer det inte så mycket mellan de olika spannmålslagen och potatis (Swedish Standards institute, 2014).



Figur 6 - Fyllnadslaster mot vertikala väggar (Swedish Standards institute, 2014).

Tabell 4 – Egenskaper för granulära material efter (Swedish Standards institute, 2014)

Material	Densitet (γ) (kN/m ³)	Rasvinkel (ϕ_r) (Grader)	Horisontal- lastförhållande (K_m)
Vete	9	34	0,54
Korn	8	28	0,59
Majs	8	35	0,53
Potatis	8	34	0,54
Djupströbädd (60 % TS)	7,8	-	-
Djupströbädd (med torr halm)	9,3	30	-

Betong

Betong är ett av våra viktigaste byggnadsmaterial. Det består av cement, vatten och ballast. Betongens egenskaper varierar beroende på hur stora andelar där är av de olika beståndsdelarna. I dagens betongindustri är det även vanligt att tillsätta olika tillsatsmedel och tillsatsmaterial för att få fram olika önskade egenskaper hos betongen. Ballasten och tillsatsmaterialet binds samman med hjälp av cementen och vattnet (Burström & Nilvér, 2018).

Betongens egenskaper

Betong har en lång livslängd och är långsiktigt hållbart. Det håller hög kvalitet över en längre tid och har låga underhållsbehov. Betong tåler både fukt och har ingen större tendens att mögla, dessutom är det brandbeständigt och kan återvinnas till 100%. Det kompakta utförandet gör betongen ljuddämpande och lufttät (Carlsson, 1996).

Det som gör betongen till ett av de vanligaste materialen när det kommer till fundament, broar, byggnader och hus är betongens höga hållfasthet, formbarhet och möjlighet till långa spännvidder (Carlsson, 1996).

Betongen består av bergmaterial, även kallat ballast, som är sammanbundet av en betongpasta. Betongpastan består av cement och vatten. Vilka egenskaper som betongen ska ha bestäms framförallt av förhållandet mellan andelen vatten och cement, detta kallas för vattencementtalet (VCT). En av de viktigaste delarna i betong är hållfastheten, den bestäms främst av VCT men även av vilken sorts cement, ballast och vilken sammansättning som används. I ballasten är det fördelningen av partiklarna som kan varieras för att få olika egenskaper hos en betong. De vanligaste ballasterna är sten, grus, sand och fillers. Fillers är material med partikelstorlekar på ner mot en tiondels millimeter (Carlsson, 1996).

Tryckfastheten är tydligt större än dragfastheten i betong. För att få bukt på detta problem så armeras betongen med armering. Där betongen är mer utsatt för drag går det att armera mer. Armeringsjärnen består oftast av stål som har en mycket god draghållfasthet. När tryckhållfastheten hos betong mäts har den fått härda i 28 dygn. Då utsätts den för ett tryck ända till dess att ett brott uppstår. Betong härdar under en mycket lång tid men huvuddelen av härdningen är färdig vid 28 dagar. Vid cirka fem år så når betongen sin maximala styrka (Carlsson, 1996).

Betongkvalitet och exponeringsklasser

Branschföreningen Svensk Betong har utgående från dessa och i samarbete med SLU tagit fram rekommendationer om lämpliga exponeringsklasser för olika byggnadsdelar i ekonomibyggnader. Tabell 5 visar de aktuella exponeringsklasserna (Swedish Standards Institute, 2012).

Tabell 5 - Exponeringsklass för betong i olika användningsområden (Swedish Standards Institute, 2012)

Stomkonstruktioner	Betong klass
Uppvärmdbyggnad Bärande väggar/fasader	XC3
Ouppvärmdbyggnad Bärande väggar/fasader	XC3, XF1

Ytbehandling av betongytor

För att få en önskad struktur på en betongyta så bearbetas den vid gjutningstillfället. Det finns olika sätt att bearbeta ytan, det kan vara s.k. brädrivning eller stålglättning. Beroende på metod så blir det olika resultat. Brädrivning ger en grövre yta medan stålglättning ger en slätare yta. Dessa arbeten utförs oftast maskinellt med en glättningsmaskin. Glättningsmaskinen kan utrustas med en planskiva eller ett bladkors. Resultatet på ytan beror på hur länge den bearbetas med respektive metod. En stålglättad yta blir väldigt glatt eftersom där är väldigt få porer. Detta ger en väldigt lättstädad yta med bra hygien men väldigt glatt (Swedish Standards Institute, 2012).

Ytskikt/beläggningar på betongytor

För att ytterligare förbättra en betongytas egenskaper eller anpassa till speciella krav kan ytan beläggas med ytskikt eller beklädnader. Beklädnader är vanligast när det kommer till golv i till exempel djurstallar. Det vanligaste är någon form av plastbeläggning som kan målas på. Det finns även olika metoder för s.k. dammbindning där betongytans porer "täts" med en transparent vätska. Detta gör renhållningen mycket enklare. Betongytorna kan även kläs med keramiska plattor för att få bättre hygien och en lättare yta att rengöra (Swedish Standards Institute, 2012).

Miljö - Betong

Portlandcement är den viktigaste delen i en betong. Tyvärr så är det också denna del som har största negativa påverkan på miljön. Varje år så tillverkas det cirka 3,3 miljarder ton portlandcement. Koldioxidutsläppen från tillverkningen av portlandcement är cirka 866 kg CO₂ för 1000 kg portlandklinker. Ungefär 60 % av utsläppen kommer från kalcineringen av kalksten, som är den viktigaste råvaran för framställningen av portlandcementklinker. Det är den reaktion som sker med kalkstenen när kalkstenen är i ugnen. Hela 440 kg CO₂ släpps ut i atmosfären. De resterande 40 % av koldioxidutsläppen sker vid förbränningen för att hålla kalkstensugnarna i rätt temperatur för att reaktionen ska bilda klinkermineralerna (Celik m.fl., 2014).

För att minska koldioxidutsläppen vid betongtillverkning så går det att använda mindre portlandcement och istället tillsätta alternativa bindemedel. De vanligaste är att tillsätta flygaska eller malet granulerat masugnsslagg. (Miller m.fl., 2016). Millers team har studerat olika blandningar, deras tryckhållfasthet och Klimatavtryck per kubikmeterbetong. Formlerna baseras på blandningar med vatten och bindningsmedel. De bindningsmedlen som undersöktes var ren Portlandcement, portlandcement blandat med flygaska och portlandcement blandat med masugnsslagg. För att möta flera krav på mekaniska egenskaper och lägre koldioxidekvivalenter, presenteras en metod för att erhålla det optimala förhållandet mellan vatten och bindemedel. Forskningen baserades på en direkt optimering mellan hållfasthet och CO₂-ekvivalenter. Forskningen visade att portlandcement blandat med framförallt höga andelar masugnsslagg gav mycket lägre klimatavtryck samtidigt som det optimala förhållandet mellan hållfasthet och koldioxidekvivalenter var upp emot 50-70 MPa. (Miller m.fl., 2016).

METOD

För att genomföra litteraturstudien av arbetet för Abetong så har jag använt mig av Eurokoderna från svensk standard. De Eurokoderna som jag har använt mig av är laster på bärverk, tekniska specifikationer och silolaster. Jag har även använt sökmotorn Google.scholar för att hitta vetenskapliga artiklar.

Med hjälp av Abetong och Contigas konstruktörer på Byggnadstekniska Byrån, BTB, räknades det fram vilka belastningar som ett väggelement som mest kan utsättas för i Sverige. BTB använder två olika program vid beräkningar av hålväggsselementen för att kontrollera att resultaten är rimliga. Resultaten från de olika programmen kan variera eftersom indata skiljer något. Programmen som användes är E-Bjälke och Pre Stress.

AutoCAD använde jag för att rita olika förslag på hur väggelementen kan konstrueras. Olika armeringsalternativ ritades upp tillsammans med en beskrivande text för att göra det enkelt för konstruktörerna på Abetong och Contiga att förstå vad som önskades.

För att ta reda på vilka produktionsmöjligheter som finns i de fabriker som Abetong har tillgång till i dagens läge så har jag med hjälp av min kontaktperson på Abetong, Fredrik Fredbo, haft möte med produktchefen för Abetongs systerbolag Contiga. För ytterligare frågor och funderingar om vad som är möjligt att genomföra med de maskinerna som Contiga använder sig av så har jag kontaktat maskintillverkaren, Elematic, som har levererat alla maskinerna till Contigas håldäcks produktion. Kontakten med Elematic och BTB skedde i form av mejl. Mejlväxlingen med Elematic finns i bilaga 5-7 och med BTB finns i bilaga 9.

RESULTAT

De håldäcksmaskiner som Abetong och systerbolaget Contiga har tillgång till idag är inte anpassningsbara för att producera håldäcksväggar. Däremot så har den världsledande maskintillverkaren av håldäcksmaskiner, Elematic, en färdig linje för tillverkning av håldäcksväggar att sälja.

Dimensionerande laster på håldäcksväggelement

Byggnadstekniska Byrån har med hjälp av programmen Pre Stress och E-Bjälke beräknat fram bärförmågan för några av de håldäcksväggelementen som är intressanta för projektet. Dock visade det sig att E-Bjälke endast kan beräkna med 5 vajrar. De olika beräkningarna beskrivs i tabell . Lasterna är beräknade i kN per meter håldäck. För att få lasterna i kN/m² så delas det med 1,2 eftersom elementen är 1,2 m breda.

Tabell 7 – Pre Stress beräkningar av dimensionerande laster på håldäcksväggelement, Se bilaga 9.

Håldäckdjup	Last/m (kN/m)	Last/m ² (kN/m ²)
HDF 120mm 7 vajrar	10,4	8,7
HDF 150mm 7 vajrar	14,2	11,8
HDF 200mm 5 vajrar	15,5	12,9
HDF 200mm 7 Vajrar	20,3	16,9

Vindlaster på väggelement

Med hjälp av en beräkningsmall i Excel från Abetong så har den största vindbelastningen beräknats (figur 7). Den största vindlasten dvs dimensionerande last, q_d har beräknats efter mest ogynnsamma förhållanden i Sverige. Terrängtypen är 0 vilket betyder att det är ett havs eller kustområde som utsätts för 26 m/s. Väggarnas höjd är maximalt 6 meter höga. Säkerhetsklassen 2 samt en byggnadsbredd på 8 meter.

Resultatet för dessa förutsättningar gör att väggelementet måste klara en vindlast på 1,79 kN/m²

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3						Terrängtyp	z0 [m]	zmin [m]	kr [-]
4		Referensvind v_b	26	m/s		0	0,003	1	0,156
5		Terrängtyp	0						
6		byggnadshöjd, z	6	m					
7		$c_e(z)$	2,517						
8		q_b	0,423	kN/m2					
9		$q_p(z)$	1,063	kN/m2					
10		SK_{st}	2		Beräkna med 2an				
11		V_d	0,91						
12		byggnadsbredd, d	8						
13		h/d	0,8						
14		c_{p_i+e}	1,233						
15		$v_d \cdot v_Q$	1,365						
16									
17									
18		q_d Dimensionerande last	1,790280562	kN/m2					
19									

Figur 7 – Beräkningsmall i Excel för beräkning av vindlast (Abetong). Se Bilaga 1.

Djurlaster på väggelement

Då väggarna används som beklädnadselement i ett djurstall så kan väggarna komma att utsättas för punktplaster från kreaturet. Det mest ogynnsamma är ett nötkreatur som mitt emellan två infästningar i stommen trycker i längdled med horisontell last. Då överförs hela djurets vikt mot väggelementet. Ett vuxet nötkreatur ger en uppskattad last på 8 kN.

Spannmål och fastgödsel på väggelement

Möjligheten att lagra produkter mot väggelement är en avgörande faktor för väggens användningsområde. De produkterna som kommer vara vanligast att lagra är spannmål i planlager och djupströbäddar i djurstallar. Eftersom det i detta fall endast är aktuellt med djupströbädd till djur och inte lagring av djupströgödsel så kommer inte djupströbädden upp i samma höjd som spannmålen och kommer inte att utsätta väggelementet för lika mycket kraft.

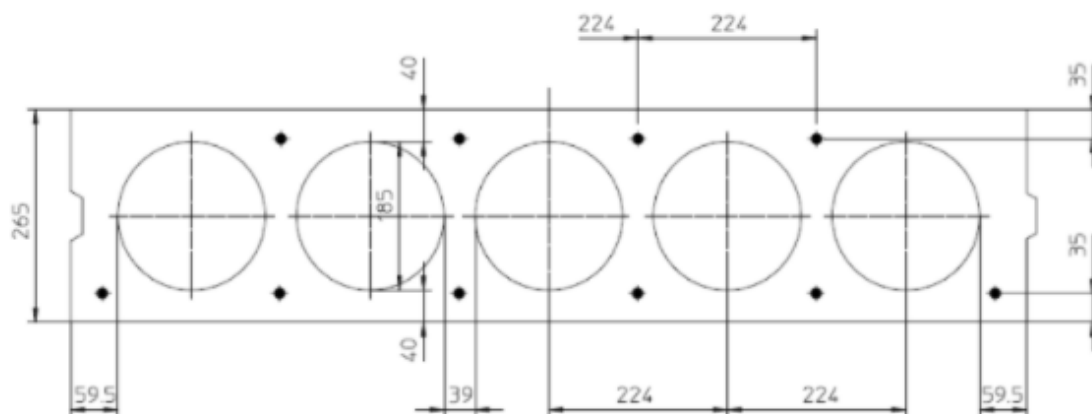
Laster mot väggelement beräknas enligt formel 2 med en säkerhetsfaktor på 1,5. Resultatet på vilken last som uppstår från vete visas nedan i tabell 8. Vid en spannmålslast på 4 meter kommer nedre delen av väggen att utsättas för en kraft på 45,5 kN/m²

Tabell 8 – Utbredd belastning på väggelement från vete angett i kN/m²

Vägghöjd (m)	Vete (kN/m ²)
1	11,4
2	22,7
3	34,1
4	45,5

Laster vid hantering och transport

Håldäckselementet är konstruerat med fem till 8 cylindriska hål som sträcker sig genom hela väggelementet. Beroende på elementets tjocklek används olika antal förspända vajrar till armering. Väggelementets under och överkant är försedda med en spont för att de ska passa i varandra när de staplas på höjden (figur 8).



Figur 8 – HDF 265 från Elematic.

Efter kontakt med Contigas utrustningsleverantör, Elematic, så står det klart att det finns goda möjligheter att gjuta in lyftanordningar i form av kulankare i väggelementen för montering på byggarbetsplatsen. Detta är däremot en process som inte kan utföras med håldäcksmaskin utan det måste utföras manuellt direkt efter gjutningen.

I fabriken så finns det två lösningar på hur väggelementen kan hanteras. Alternativ ett är att använda sig av en klämma som klämmer om väggelementen. Denna metod är väldigt snarlik den som används till dagens håldäcksproduktion. Alternativ två är att hydrauliskt ställa väggelementen på högkant med hjälp av hydrauliska väggresare (figur 9) för att sedan lyfta i kulankare som finns för montaget på byggarbetsplatsen.



Figur 9. Hydraulisk väggresare från Elematic (Korander, 2018)

Infästning vid stålstomme

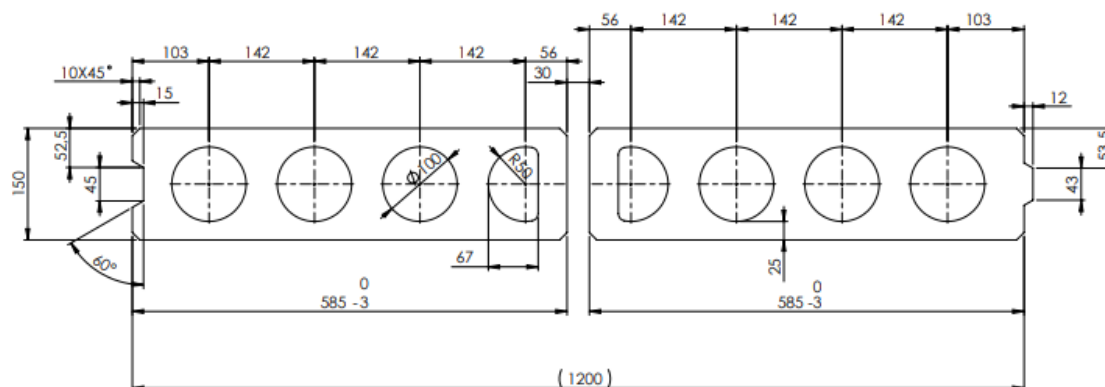
Väggelementen monteras mot stålstomme med brickor som spänns på plats i en ingjuten skena. Brickorna kan även monteras direkt i väggen med betongskruv enligt figur 10.



Figur 10. Håldäcksväggar infästa med brickor. (Korander, 2018)

Materialets påverkan på miljön.

Ett vanligt väggelement i massiv betong och storleken 1200 mm x 6000 mm x 150 mm (höjd x bredd x djup) har en betongåtgång på 1,08 m³ betong. Ett håldäcksväggelement med samma storlek och 8 runda hål (figur 11) har en betongåtgång på 0,70 m³



Figur 11 – Ritning på 150 mm håldäcksvägg från Elematic. Vid 1200 mm block så tillverkas betongelementen med 8 runda cylindrar.

Vid tillverkningen av en vanlig solid betongvägg så går det åt betydligt mer betong och armering än det gör med en håldäcksvägg. Det går åt 0,377 m³ (34,9 %) mindre betong vid tillverkningen.

Att använda mindre betong vid tillverkningen av väggelement är ett av de bästa sätten för att minska miljöavtrycket. Går det även att använda en mer miljövänlig betong som innehåller ett alternativt bindemedel såsom flygaska eller malet masugnsslagg så kan klimatpåverkan minskas ytterligare. Tabell 9 visar tydligt att det går att sänka klimatavtrycket betydligt genom att använda alternativa bindemedel i betongen.

Tabell 9 – Beräknad koldioxidproduktion vid tillverkning av ett håldäcksväggelement med olika betongblandningar från tabell 7. Betongförbrukning 0,70 m³.

Bindemedel	Medel GWP (koldioxid-ekvivalenter) vid optimal w/b (kg CO ₂ – ekv/m ³)	Koldioxid vid tillverkning av ett håldäcksväggelement (kg CO ₂ – ekv)
Endast Portlandcement	477	335
Blandning med flygaska	445	312
Blandning med malet masugnsslagg	350	246

DISKUSSION

Efter de beräkningar som utförts av BTB så visar de sig att alla de håldäckselementen som vi har beräknat klarar vindlasten på $1,8 \text{ kN/m}^2$. Det betyder att håldäcken skulle lämpa sig bra som ett beklädnadselement för lantbruksbyggnader. Håldäckväggelement har dessutom en mycket god brandbeständighet. Därför skulle de kunna lämpa sig bra som beklädnadsteglet i verkstäder/tvätthallar eller som brandvägg.

När det kommer till att använda håldäck i djurstallar så börjar det bli något värre. Ett normalstort nötkreatur kan belasta väggen med ett tryck på upp till 8 kN . Vid 8 kN last så ska alla väggarna klara det. Men om det är flera djur som trycker samtidigt på mitten så kan det bli ett problem med HDF 120 mm håldäcksvägg.

Om väggarna ska belastas med djupströbädd så kan man inte använda sig av 120 mm:s väggen. Det har varit lite lurigt att få fram hur mycket en djupströbädd belastar men om man jämför med vete som är relativt likt förutom rasvinkeln så ska en HDF 150 mm med 7 vajrar klara av 1 meter djupströbädd. Ska däremot lasten kombineras med ett djur ovanpå så får man nog gå upp ytterligare i storlek till ett HDF 200 mm med antingen 5 eller 7 vajrar. Här ska det dock beaktas att vete-lasten har en rasvinkel på 34 grader som också belastar väggen. Det skulle kunna vara så att det motsvarar djurlasterna men detta får konstruktörer beräkna vidare på ifall Abetong väljer att gå vidare med projektet.

Vid lagring av spannmål i planlager (vete) visar det sig att håldäcksväggar inte lämpar sig speciellt bra eftersom de inte klarar av tillräckligt höga laster. Vid lagring av vete med en rasvinkel på 34 grader så går det endast att lagra 1,4 m högt (16 kN/m^2) på en HDF 200 mm. Detta är alldeles för lite för att vara konkurrenskraftigt mot ett vanligt betongelement. Något att fundera vidare på här är om det går att gjuta in muttrar nere i elementen där det går att skruva in gängstavar som kan gjas in i golvet. Detta hade hjälpt väggelementen att ta upp lasterna.

Förmodligen kommer håldäcksväggelementen lämpa sig bäst för djurproduktion som exempelvis dikoproduktion, rekryteringsdjur och lammproduktion. Detta eftersom de är produktioner med mindre ekonomiska marginaler och där inte byggnaderna utnyttjas året runt. Håldäck är inget bra alternativ för spannmålslager eftersom det normalt behövs högre lagringshöjder än 1,4 m. För att det ska bli aktuellt med håldäck i lantbruksbyggnader så förutsätter det att väggelementen blir billigare än vanliga traditionella väggar vilket blir ett senare steg för Abetong att undersöka.

Ytbehandling av håldäcksväggelementen kan genomföras efter att läggaren passerat. Stålade eller glättade element är genomförbart men singelbeklädda väggar kan bli ett problem eftersom singeln normalt ligger underst i gjutformen.

Att använda sig av håldäck som väggelement ger ett avsevärt mycket mindre klimatavtryck. Det går åt hela 35% mindre betong vid tillverkningen vilket är relativt mycket. Utöver detta så går det även att använda alternativa bindemedel så som flygaska eller malet masugnsslagg i betongblandningen för att ytterligare sänka det mycket aktuella klimatavtrycket i byggbranschen. Det är portlandcementen som utgör den största delen av utsläpp i betongindustrin så om det går att minska den delen så är det en stor vinning. Att det går åt mindre betong i ett håldäckelement är också bra då det blir mindre transporter av råmaterial

till fabriken. Väggelementen blir dessutom lättare eftersom de blir hålrum i dem och detta medför att transporten till byggarbetsplatsen går lättare och det går åt mindre bränsle för lastbilarna. När elementen ska lyftas på plats så går det eventuellt att använda en mindre kran som kanske inte drar lika mycket bränsle.

För att få produktionen att bli verklighet så har Abetong och Contiga en hel del arbete framför sig. Först och främst måste de beräkna vad produktionskostnaden för håldäcksväggarna är. Det kanske visar sig att prisskillnaden jämfört med den solida traditionella betongväggen är för liten. De måste även undersöka vilken marknad och kundunderlag det finns för håldäcksväggar. Är lantbruket redo för denna typ av väggelement. Det finns kanske möjligheter att använda håldäcksväggar till industrilokaler eller vid bostadsbyggande.

Abetong måste även undersöka vilka investeringar som behöver göras för att få igång en produktion. De stora investeringarna blir en ny håldäcksläggare och lyftanordning antingen med klämma eller med en hydraulisk väggresare.

Att undersöka möjligheten att använda håldäcksväggelement i industrilokaler och bostäder borde vara ett vidare steg för Abetong och Contiga. Detta eftersom håldäck till största del går att tillverka med maskin så blir det väldigt ekonomiskt konkurrenskraftigt i takt med att arbetskraft blir allt dyrare. Dessutom så är det hård konkurrens från utländska betongelement eftersom de har billigare löner och sämre villkor för sina anställda.

Det intressanta med min undersökning är att det redan finns en färdig produktionslina redo att köpa. Av de jag varit i kontakt med från Abetong, Contiga och BTB så har det låtit mycket positivt och de tycker att det låter som en intressant idé värd att titta vidare på. Det är även intressant att det kanske finns ett billigare alternativ till de lite dyrare traditionella betongväggarna. Lantbruket ser sällan några större prisuppgångar på de produkterna som produceras så det gäller att bygga billigare för att få en bättre kalkyl och då kan det vara ett bra alternativ att spara pengar på fasadbeklädnaden.

Det är några saker som jag skulle gjort annorlunda ifall jag skulle göra om undersökningen. Eftersom mycket av informationen till detta projekt kommer från fabrikschefer, produktspecialister och personer inom håldäcksbranschen så skulle informationssökandet här börjat tidigare. Det är alltid mycket tidskrävande att anordna möten och att hitta rätt personer som kan svara direkt på de frågorna som kommer upp på mötena. Litteraturstudien hade kunnat vänta så att man kan gå tillbaka till den när det finns tid över eftersom den informationen finns mer lättillgänglig.

Jag spenderade onödigt mycket tid på att försöka få fram de svenska standarderna på egen hand. Det visade sig att jag inte alls har tillgång till dem trots VPN anslutning via SLU. Att direkt gå till rätt personer som kunde lämna ut informationen i PDF version var betydligt mer tidseffektivt.

Att ta direkt kontakt med maskintillverkaren Elematic för att ta reda på vilka begränsningar som finns i tillverkningen hade nog varit en idé, däremot så kände varken jag eller mina kontakter på Abetong till hur tillverkningsprocessen fungerade för håldäck innan mötet med Contiga.

Slutsats

Att använda sig av håldäcksväggar inom lantbruk kan vara ett bra framtida komplement till dagens väggelement. Håldäckens största fördelar är att de går att tillverkas med maskin vilket minimerar antalet arbetstimmar per m² väggelement. Det går dessutom åt 35% mindre betong än för ett liknande väggelement vilket medför att det blir ett avsevärt mindre klimatavtryck. Håldäcken klarar även de vindlasterna som de kan utsättas för i svenska förhållanden. Det ska inte heller vara några problem med de djurbelastningar som kan uppstå. Däremot så kommer det inte att bli konkurrenskraftig som väggelement i planlager för spannmål då håldäcken klarar för låg lagringshöjd.

REFERENSER

- Abetong AB. (U.å). *Om Abetong*. Tillgänglig:
https://www.abetong.se/sv/om_abetong [24 05 2021]
- Boverket. (2011). *Boverkets konstruktionsregler. BFS 2011:10 EKS 11*. Karlskrona: Boverket.
Tillgänglig: <https://www.boverket.se/sv/byggande/regler-for-byggande/om-boverkets-konstruktionsregler-eks/andrade-konstruktionsregler/> [24 05 2021]
- Burström, P. G., Nilvér, K. (2018). *Byggnadsmaterial - tillverkning, egenskaper och användning*. Student litteratur AB. [20 05 2021]
- Carlsson, C.A., (1996). *Betongteknik*. Byggtreprenörerna. [16 10 2021]
- Celik, K., Meral, C., Gursel, A., Mehta, P., Horvath, A., Monteiro, P. J. (2015). Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of self-consolidating concrete mixtures made with blended portland cements containing fly ash and limestone powder. *Cement and Concrete Composites*, 56(59-72). Tillgänglig:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946514002054> [20 05 2021]
- Contiga. (U.å). *Betongelement*. Tillgänglig:
<https://www.contiga.se/sv/betongelement> [24 05 2021]
- Korander, O. (2018). *Hollow core as wall element*. ELEMATIC.
- Miller, S. A., Monteiro, P. J., Ostertag, C. P., Horvath, A. (2016). Concrete mixture proportioning for desired strength and reduced global. *Construction and Building Materials*, 128 (410-421). Tillgänglig:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816316968> [22 05 2021]
- Strangbetong.se (2021) *Håldäck*. Tillgänglig:
<https://strangbetong.se/produkter/bjalklag/haldack/> [17 10 2021]
- Swedish Standards Institute. (2008). Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 1-4: Allmänna laster – Vindlast. *Svenskstandard SS-EN 1991-1-4:2005*. Stockholm: SIS Förlag AB.
- Swedish Standards Institute. (2011). Laster på bärverk – Del 1-1: Allmänna laster – Tunghet, egentygnd, nyttig last för byggnader. *SVENSK STANDARD SS-EN 1991-1-1*. Stockholm: SIS Förlag AB.
- Swedish Standards Institute. (2012). Ekonomibyggnader – Tillämpningar till Boverkets och Jordbruksverkets regler avseende utformning av ekonomibyggnader för jordbruk, skogsbruk och trädgårdsnäring samt hästverksamhet. *Teknisk specifikation SIS-TS 37:2012*. Stockholm: SIS Förlag AB.
- Swedish Standards institute. (2014). Eurokod 1 – Laster på bärverk – Del 4: Silor och behållare. *SVENSK STANDARD SS-EN 1991-4:2006*. Stockholm: SIS Förlag AB.
- Ventföretagen, P. &. (U.å). *Vindbelastning* Tillgänglig:
[http://www.teknikhandboken.se/handboken/infastning-av-plat-i-olika-underlag/dimensionering-av-forband/vindbelastning/#:~:text=Fem%20olika%20terr%C3%A4ngtyper%20\(0%2C%20I,omr%C3%A5den%20och%20%C3%A4r%20minst%20utsatt.](http://www.teknikhandboken.se/handboken/infastning-av-plat-i-olika-underlag/dimensionering-av-forband/vindbelastning/#:~:text=Fem%20olika%20terr%C3%A4ngtyper%20(0%2C%20I,omr%C3%A5den%20och%20%C3%A4r%20minst%20utsatt.) [16 04 2021]

BILAGOR

Bilaga 1 – Möte med Abetong

Datum: 26-04-2021

Medverkande:

Fredrik Dobak Andersson, Student

Fredrik Fredbo, produktutveckling, Abetong

Sebastian Gyllensten, konstruktör, Abetong

Syftet med mötet

Syftet med mötet var att gå igenom projektbeskrivningen inför mötet med Contiga senare i veckan. Diskutera vilka frågor som skulle tas upp samt diskutera vind belastning med konstruktör, Sebastian Gyllensten på Abetong.

Frågor som skulle tas upp under mötet med Contiga

- Går det att gjuta in lyft fästen
- Vad behövs med för täcksikt över armeringen
- Vad finns det för möjligheter när det kommer till extra armering i produktionen.
- Finns HD/F 155 som special dimension

Vindbelastningen på väggelementen beräknas med hjälp av ett Excel-dokument.



Vindtryck EKS med
säkerhetsfaktorer.xlsx

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3						Terrängtyp	z0 [m]	zmin [m]	kr [-]
4		Referensvind v_b	26	m/s		0	0,003	1	0,156
5		Terrängtyp	0						
6		byggnadshöjd, z	6	m					
7		$c_e(z)$	2,517						
8		q_b	0,423	kN/m ²					
9		$q_p(z)$	1,063	kN/m ²					
10		$S_{k_{st}} =$	2		Beräkna med 2an				
11		$\gamma_d =$	0,91						
12		byggnadsbredd, d	8						
13		h/d	0,8						
14		c_{p_i+e}	1,233						
15		$\gamma_d * \gamma_Q$	1,365						
16									
17									
18		qd Dimensionerande last	1,790280562	KN/m ²					
19									

Beräkning av dimensionerande last för de minst gynnsamma förhållandena i Sverige.

26 m/s, terrängtyp 0, säkerhetsklass 2, byggnads bredd 8. Dimensionerande last = 1,79 KN/m²

Konstruktionsförslag på väggelement.

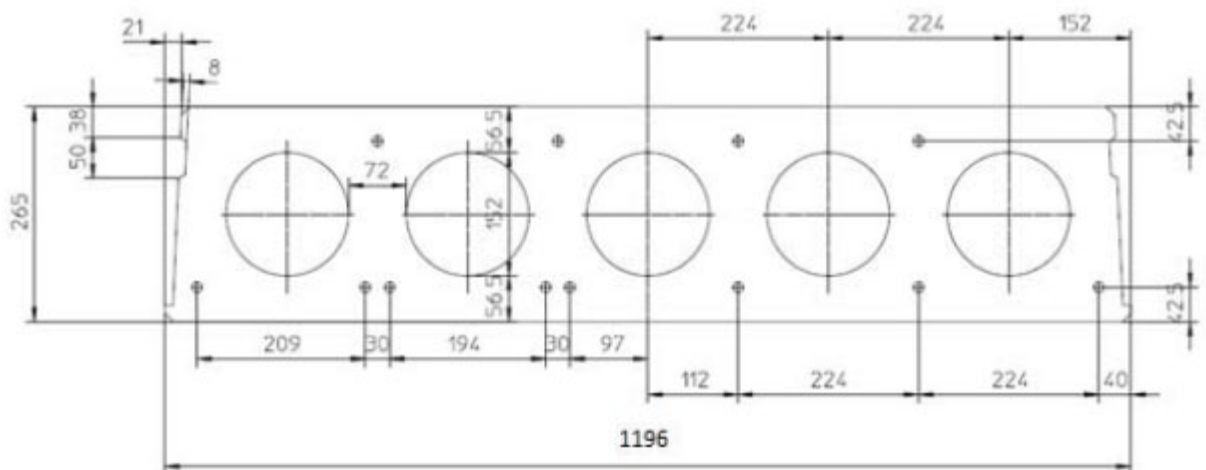
Har utgått från ett Håldäck HD/F 265 (special dimension). Väggelementet har måtten 6000x1196mm



HD/F 265/155 (Special dimension)

Höjd 265 mm
Bredd 1196mm
Håldiameter 155 mm
Spännvidd max 12 m
Vikt 440 kg/m²

10 linor

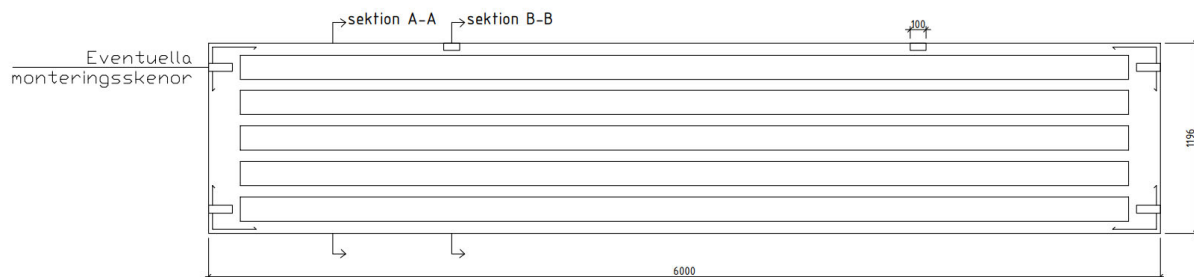


265/Special Alternativa kombinationer för linor

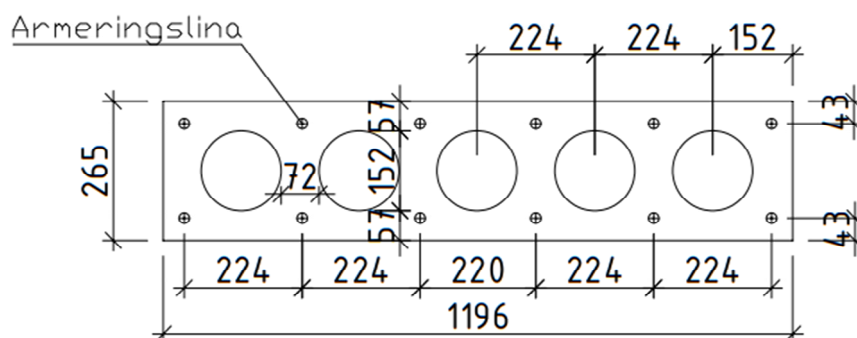
Mitt förslag är ett Väggelement med spänn-armering på båda sidorna med 12 vajrar. Det finns möjlighet att minimera antalet vajrar eller bara på sidan som har mindre belastning, dvs utsidan av väggelementet. Istället för snedskurna långsidor som gjuts ihop så har jag tänkt ha raka vilket gör blocken staplingsbara. En

spontliknande konstruktion skulle vara ett alternativ för att få väggelementen att linjera med varandra.

Jag har även ritat med avbrott på hålen i ändarna (200mm in), Detta kanske inte är möjligt i produktionen men då får det justeras om så är fallet.

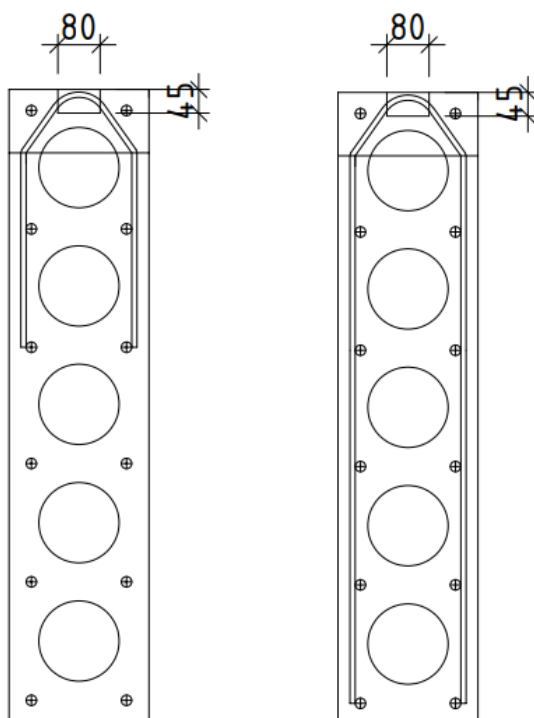


Skala: 1:20



Skala: 1:5

Anledningen till att jag valde HD/F 265 är för att de håldäcket har ett tjockare betongskick vilket möjliggör att lyftanordningen kan gå ner på utsidan av vajrarna. Har ett förslag på hur lyftanordningen kan konstrueras. Konstruktörerna får beräkna hur pass långt ner i blocket som lyftanordningen ska gå.



Skala 1:5

Bilaga 3 - Projektmöte med Contiga

Datum: 29-04-2021

Medverkande

Fredrik Dobak Andersson, Student

Fredrik Fredbo, produktutveckling, Abetong

Sebastian Gyllensten, konstruktör, Abetong

Johannes Lindenmo, Projektchef, Contiga

Syfte och bakgrund till mötet.

Syftet med mötet var att reda ut ifall det är produktionsmässigt möjligt att använda håldäck som ett billigare beklädnads element. Contiga som är ett systerbolag till Abetong tillverkar håldäck som i dagsläget används som bjälklag. Dessa håldäck är spännarmerade och glid gjuts på en lång bana med en maskin. Banan kan vara upp till 130 meter lång. Därefter så kapas betongelementen i en önskad längd. Ett håldäck är oftast endast armerat på undersidan vilket gör att de klarar väldigt stora krafter uppifrån men i stort sett inga krafter från de övriga riktningarna. Därför behöver armeringen i ett håldäck som ska användas som väggelement justeras något.

Frågor och svar under mötet

- Är det möjligt att använda dubbla linor i både ovan och underkant av ett HD/F 265?

Det är möjligt att använda sig av linor i både över och underkant i produktions hänsyn. Däremot så måste en konstruktör titta på det statiska så att det håller.

- Håldäcken har vinklade kanter som gjuts i efter monteringen, går det att få raka kanter så att blocken staplingsbara?

Det går inte att tillverka med den utrustningen som finns idag på fabriken. För att få svar på om det är möjligt att göra så får de som levererar maskinerna kontaktas. Företaget som levererar heter Elematic.

- Kommer den lyftanordning som föreslagits att fungera i fabriken?

Den lyft anordning som har ritats kommer inte att fungera i fabriken produktion. Eftersom det inte går att lägga in några armeringsbyglar tvärs emot de uppvända linorna för då kommer inte utläggare maskinen förbi.

Däremot så går det att hacka upp betongen (innan den stelnat) och lägga i lyftankare.

- Hur behöver betongelementen hanteras i fabriken?

Håldäcken lyfts idag med en klämma som harkar i en längsgående skåra på långsidan av håldäcken. Denna metod måste fundera även på de nya elementen. Det kommer leda till att klämman måste öppna några centimeter mer så det får undersökas med leverantören Elematic ifall det är möjligt.

- Vilka betong klasser klarar fabriken av att leverera? Klara det svenskstandards krav på betongklasser för utomhus montering?

Fabriken i Norrtälje kan idag endast göra XC3+XF1 betong. Contiga fabrik i Uddevalla kan dock göra XF3 betong. Contiga får återkomma vad det är som gör att fabriken i Norrtälje inte kan göra XF3 betong.

- Går det att gjuta in lyft fästen

Det går att gjuta in fästen efter att läggaren passerat. Det måste däremot göras för hand. Att montera fästen som klarar att lyfta på högkant är något som konstruktörerna måste beräkna.

- Vad behövs med för täcksikt över armeringen

Det beror på vilken betongklass och vilken miljö betongelementen ska användas i.

- Vad finns det för möjligheter när det kommer till extra armering i produktionen.

Det finns möjlighet att extra armera. Även detta måste göras för hand och riskerar att fördyra betongelementets produktionskostnader.

- Finns HD/F 155 som special dimension

Ja det finns. Men Contigas fabrik i Norrtälje har inte utrustning för att tillverka dem för tillfället.

Construction of a wall-element

I have been looking at one hollow core from the Swedish producer Contiga. It's a HD/F 265 (Special dimension) with double wiring and smaller holes. The wall will be cut into 6000 mm peace's.



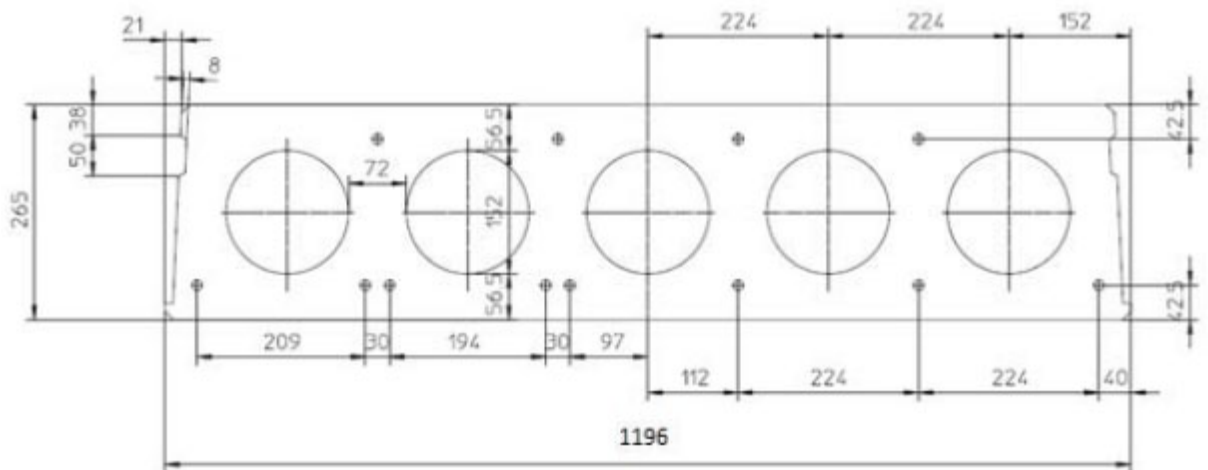
HD/F 265/155 (Special dimension)

Höjd 265 mm
Bredd 1196mm
Håldiameter 155 mm
Spännvidd max 12 m
Vikt 440 kg/m²

HD/F 265/155 (special dimension)
Hight 265mm
Width 1196mm
Hole dimeter 155mm
Length 6000mm

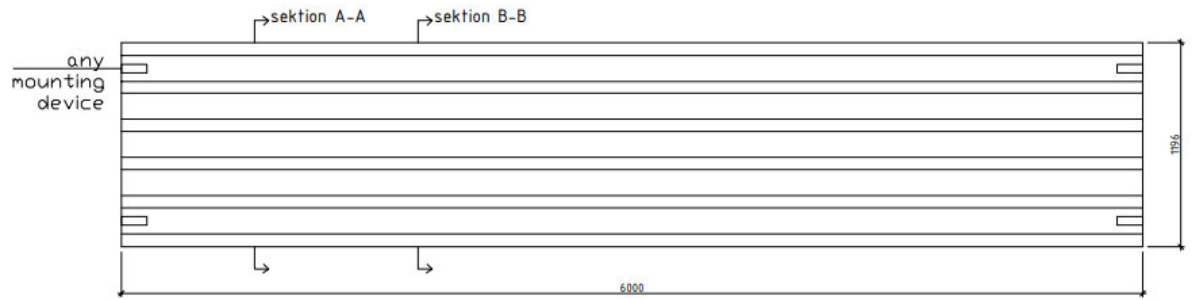
10 wire

10 linor

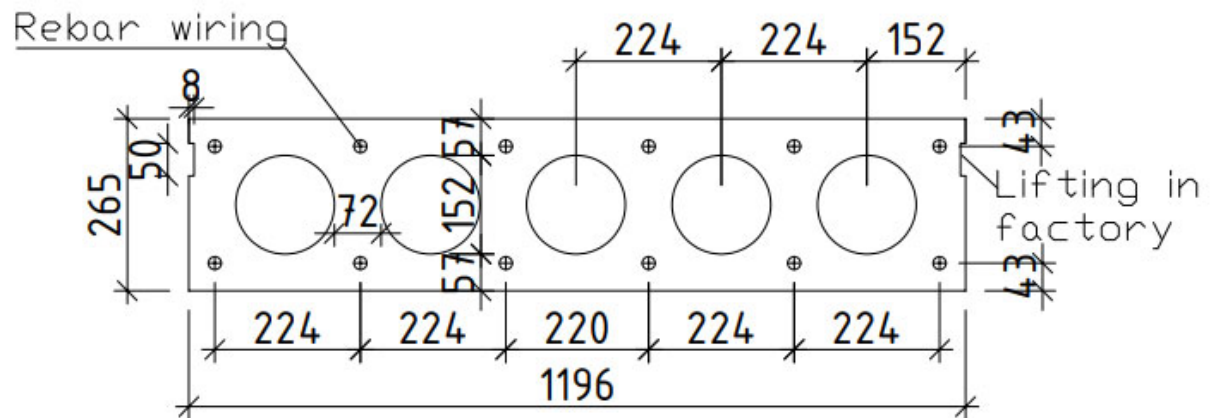


265/Special Alternativa kombinationer för linor

My idea is a wall-element with 12 tension reinforcement. It could be possible with less wiring, but we need to look more into that if it's possible to produce. The wall needs to have a flat side and not an angle (the hollow core for floor structure has an angle which I filled with concrete then mounted). The flat side will make it possible to put the wall parts on top of each other and create a 3,6m wall.

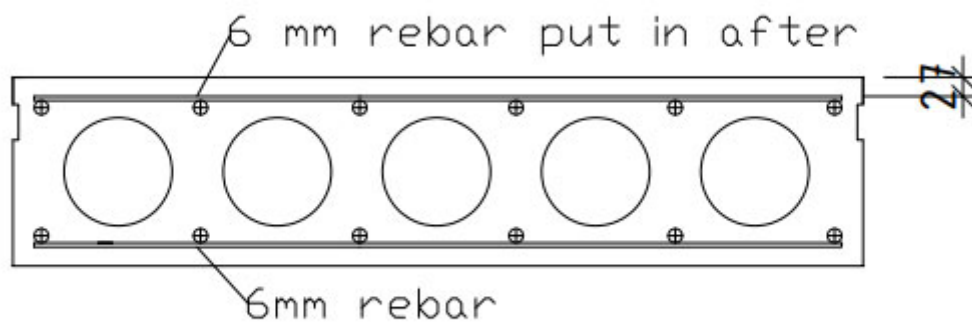


Scala: 1:20



Scala: 1:5

I also wonder if it's possible to put in rebars on the lower wire level before the machine cover the wires with concrete?



Bilaga 5 – frågeställning till Elematics produktspeciallist.

Hello Jani! Elematic told me that you are the man for my project!

My name is Fredrik and I'm a student at the Swedish university of agricultural science. I'm doing a candidate master thesis pre-study for the developmental dimming at a company called Abetong (part of Heidelberg cement). They make concrete walls and manure pits for the Swedish farmers.

The study I'm doing is a pre-study to see if it is possible to make cheap walls out of a hollow core. it meant to use as a clothing element to animal stables and other agriculture buildings. Abetong don't have any factory's who can make Hollow cores but the company Contiga (also a part of Heidelberg cement) has a factory in Sweden witch use Elematic Equipment.

I had a meeting with the production's bosses on the Contiga factory and there is some questions that they can't answer.

I have made a describing word document that hopefully helps you to understand what I'm looking for.

Soo I wonder:

1. Is it possible to make a sled (the part you switch between the different size of the hollow core) that could make flat sides on the hollow core? This is a must because we are going to put three parts together to make a 3,6m high wall.
2. Is it possible to put rebars underneath the wires before the sled cover it with concrete? The upper layer needs to be dogged in after the machine has passed.
3. Do you think its possible for the factory to lift this block with the equipment they use to the hollow core today? (look at the lift fittings at section A-A)
4. The HD/F 265 hollow core (special dimension) is it possible to get a sled with HD/ F 155 (special dimension)?

It would make my day if you got time to answer these questions and I hope that my English is good enough and if there is something you won't understand then just send me a email and I will give you a better explain.

Best regards

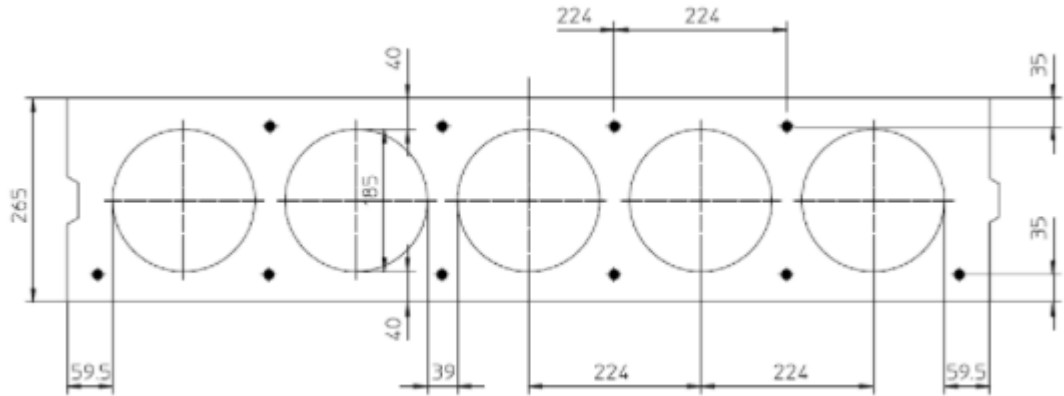
Fredrik Dobak Andersson
Student at
Swedish university of agricultural science
0701441141

Bilaga 6 – Svar från Elematic

Hello Fredrik!

Thanks for contacting us. I am happy to give you more information.

1. It is possible to make vertical side surface. That is in use and in this kind of cases, there is typically male/female-grooves in the slab. The slabs are



typically non-loadbearing.

2. It is possible to insert upper crosswise rebar to the slab during casting process (extruder, you need special device for that, which we can deliver), but not possible below the lower strands. The extruder has a certain parts, which reach almost the bed surface and that's why they cannot pass through the extruder. With slipformer could be possible, but there is not many of those and it has its own drawbacks. So if you can design the slab structurally in different way. Is the bottom rebar really necessary? Typically the wall are non-load bearing and do not need any additional rebars.
3. The lifting clamps in the factory work, if the width of the slab top surface and the place and dimensions of the lifting groove according to standard. In your case it is not, so separate clamps would be needed. We have delivered clamps also for male/female grooved slabs for both lifting horizontal slabs from bed to transportation and in vertical orientation on site when installing the wall. One alternative would be to use lifting loops.
4. Do you mean 155 mm thick (deep/high) slab? That can be produced with 8-core nozzle module. Nozzle module is the name for the bottom part of the extruder.

Let me know, if you need more information!

Kind Regards,

Jani Eilola
Elematic Oyj

Bilaga 7 – Vidare konversation med Elematic

Hello Jani, I have come up with some more questions.

1. Is it possible to get a list of the different type of walls this hollow core wall machine could make?
2. Do you got any calculations of how much force the different walls are able to handle?

Best regards
Fredrik Dobak Andersson
0701441141

Hello Fredrik,

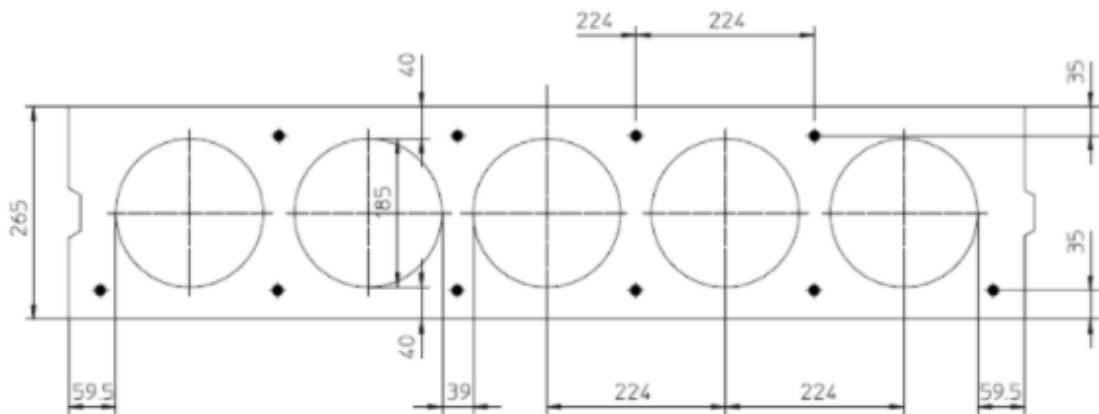
1. 120-500 mm in theory. In practice I think something like 120-320 mm have been done.
2. Unfortunately no. You can find example capacity curves (mitoituskäyrä) for floor slabs at <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laatat/ontelolaatat>

Kind Regards,

Jani Eilola
Elematic Oyj

Hello Jani,

Very interesting reading! I wonder if you got the Drawing for the 120mm, 150(155) mm and 200mm like you sent to me on the 265 hollow core wall. We think that the 150mm hollow core will be more competitive to the 150mm solid wall they build today.



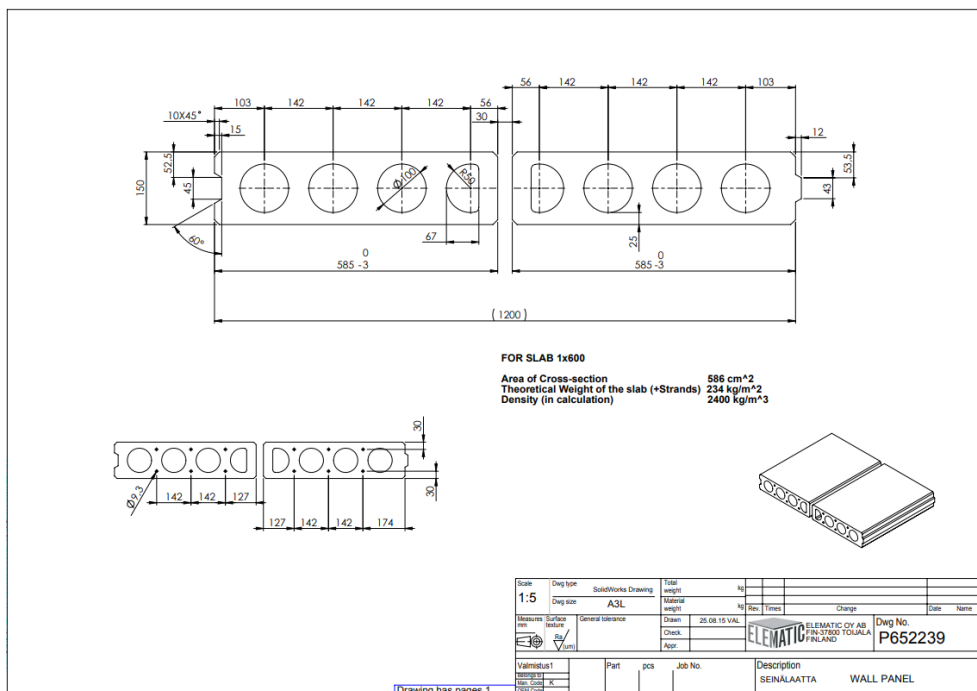
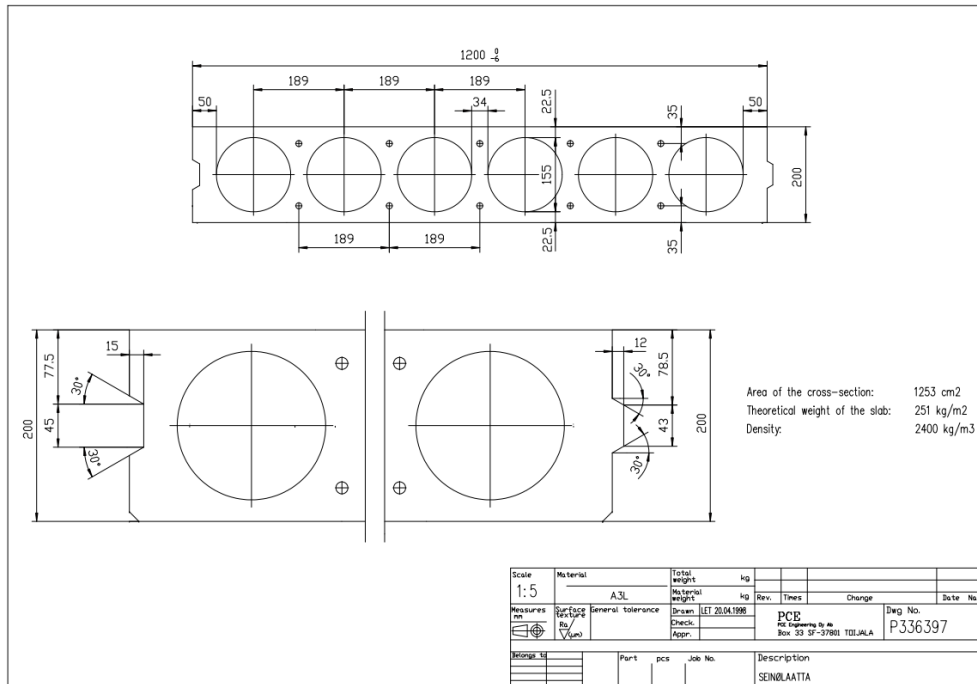
In that case I will have the Abetong engineer till calculate how much pressure the wall could handle.

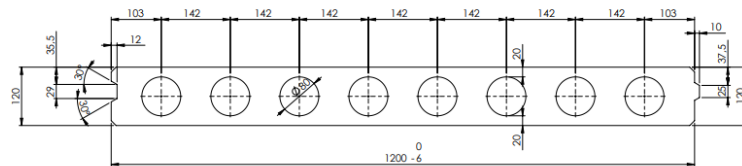
We want to know this because we may use it as grain storage, if strong enough.

Best regards
Fredrik Dobak Andersson
0701441141

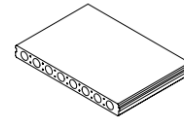
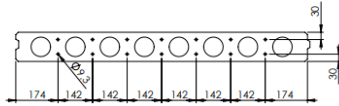
Hello Fredrik,

Please find enclosed wall slab cross sections.





Area of Cross-Section	1025.1	cm ²
Theoretical Weight of the Slab (+ Strands)	207	kg/m ²
Density (in calculations)	2400	kg/m ³



Scale	Dwg type	Scale/Work Drawing	Tag	kg	1	For this multiple	15.12.14 VML
1:5	Dwg size	A3L	Material	kg	1	For this multiple	15.12.14 VML
Measures	Surface	General tolerance	Drawn	15.12.14 VML	Check	15.12.14 VML	15.12.14 VML
By	15.12.14 VML	15.12.14 VML	15.12.14 VML	15.12.14 VML	15.12.14 VML	15.12.14 VML	15.12.14 VML
Valmistus1	Part	pcs	Job No.	Description	SEINÄLAATTA	WALL PANEL	

(Drawing has pages 1, 2)

The 8/150 can be casted as one slab so that the center cores are fully round.

Please let me know the result of the study if it is possible to disclose! I would be interested to know.

It is always joy to see people developing new uses for HC.

Kind Regards,

Jani Eilola
Elematic Oyj